

COMUNICADO  
TÉCNICO

232

Sete Lagoas, MG  
Novembro, 2018



# Eficiência Agronômica de Subprodutos de Mineração e de Siderurgia como Fontes de Potássio para o Sistema Milheto, Soja e Sorgo Cultivados em Sucessão

Antônio Marcos Coelho

# Eficiência Agronômica de Subprodutos de Mineração e de Siderurgia como Fontes de Potássio para o Sistema Milheto, Soja e Sorgo Cultivados em Sucessão<sup>1</sup>

## Introdução

Embora seja necessário adequado suprimento de todos os nutrientes essenciais para as plantas visando aumento constante na produtividade, o aumento da eficiência da nutrição potássica é extremamente importante. Com exceção do nitrogênio (N), o requerimento em potássio (K) pelas plantas é maior do que o de todos os demais nutrientes. Enquanto a fixação biológica é uma importante fonte de N para o ecossistema, não existem fontes renováveis de K no ciclo biogeoquímico.

Dos três principais nutrientes das plantas (N, P e K), o potássio (K) e o fósforo (P) provêm exclusivamente de fontes geológicas (Manning, 2010). Ambos os nutrientes são extraídos e processados para a produção de fertilizantes que variam na quantidade de tratamento químico envolvido na sua preparação. Os dois podem ser utilizados para aplicação

direta na agricultura, com a silvinita (mistura de KCl + NaCl) e fosfatos de rocha com diferentes graus de reatividade. Assim, o K absorvido pelas plantas é, pois, somente oriundo da reserva existente nos solos, reciclado de resíduos de culturas e advindo da aplicação de fertilizantes (minerais e orgânicos).

Por causa de ser limitada a capacidade dos solos em suprir potássio, o aumento na produção das culturas requererá proporcional aumento no consumo de fertilizante potássico. A aplicação deste tipo de fertilizante em solos já deficientes deve aumentar na proporção dos altos níveis de produtividade almejados e, além disso, essa aplicação será necessária em muitas áreas nas quais os solos atualmente não requerem adição de fertilizantes potássicos para obter os atuais níveis de produtividade. O aumento da eficiência de uso de K em sistemas de produção agrícola é, entretanto, necessário para minimizar o projetado aumento no requerimento de fertilizante contendo este nutriente.

---

<sup>1</sup>Eng.-Agrôn., Ph.D em Solos e Agricultura de Precisão, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

A alta demanda de K pelas culturas contrasta com as concentrações, em geral insuficientes, que ocorrem em solos brasileiros (Coelho, 2005). Esse fato, associado ao expressivo crescimento da produção agrícola brasileira nos últimos anos, tem levado a um grande aumento no consumo de fertilizantes com K (Nachtigall; Raij, 2005). Em 2014, o consumo de fertilizantes de potássio na agricultura brasileira foi de nove milhões de toneladas, dos quais mais de 90% foram importados, representando um custo ao redor de US\$ 3 bilhões (Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, 2014). Esses dados justificam a implementação de políticas governamentais com o objetivo de explorar as reservas de minério de carnalita no Estado de Sergipe, bem como os depósitos de silvinita no Estado do Amazonas (Lopes, 2005). Além disso, devem estimular pesquisas sobre a viabilidade econômica de exploração de silicatos de potássio (Manning, 2010; Ribeiro et al., 2010) e subprodutos da mineração e siderurgia, (Coelho et al., 2009; Coelho, 2017), abundantes em todo o Brasil, como fonte de adubo potássico.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar em um sistema agrícola com as culturas de milho, soja e sorgo grânifero, cultivados em sucessão, subprodutos da mineração e da siderurgia, para aplicação direta no solo, como fontes alternativas de potássio, comparadas ao fertilizante solúvel padrão.

## Características físico-químicas das fontes avaliadas

Para fins de caracterização como insumo agrícola para aplicação direta no solo, as fontes avaliadas, um subproduto da mineração (Biotita) e um subproduto da siderurgia (RMS) (Figura 1), com granulometria inferior a 2 mm (10 mesh), tal como se procede no uso agrícola de calcários, foram caracterizadas através de análises químicas e físicas de acordo com a metodologia utilizada por Coelho (2013).

A rocha Biotita ocorre naturalmente no Estado de Minas Gerais, principalmente nos municípios de Itabira e Itabirito. Amostra desta rocha moída apresenta cor cinza (Figura 1). O RMS é um subproduto da indústria de extração de manganês, apresentando cor castanha (Figura 1). Ambos os materiais apresentaram baixos teores de CaO, com valores muito baixos para os índices de PN (<67%) e PRNT (<45%), não se caracterizando como materiais com potencial para correção da acidez dos solos.

Com relação ao potencial destas fontes para o suprimento de nutrientes, a rocha Biotita contém um teor de 5% de K<sub>2</sub>O total, sendo menos de 1% solúvel em água e teores mais altos de magnésio (8,34%) e de silício (24,64%) e quantidades muito baixas de fósforo e de micronutrientes. O subproduto RMS com um teor de 11,8% de K total,

sendo 10% solúvel em água e altos teores de Zn (1,10%) e Mn (26,50%) e quantidades muito baixas de fósforo e outros micronutrientes. Para os teores totais de K e P, a Instrução Normativa nº 5 do Mapa, de 10 de março de 2016 (Brasil, 2016), estabelece que os produtos remineralizadores de solos devem conter no mínimo 1% de  $K_2O$  e de  $P_2O_5$ , respectivamente.

Para os elementos traços, considerados não essenciais as plantas, mas apresentando algum potencial tóxico (Pb, As, Cd e Hg), somente a RMS

apresentou valores mais altos, superiores aos limites máximos estabelecidos pelo Mapa, Instrução Normativa nº 5 de 10 de março de 2016 (Brasil, 2016), que normatiza o uso de remineralizadores dos solos.

Foto: Antônio Marcos Coelho



Subproduto de mineração - Biotita



Subproduto de siderurgia - RMS

**Figura 1.** Amostra de subprodutos de mineração e de siderurgia utilizadas nos experimentos.



## Planejamento Experimental

Experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo, coordenadas geográficas: Latitude 19°28'S, Longitude 44°15'W, altitude de 732 m acima do nível do mar, em um solo classificado como Latossolo Vermelho (Figura 2). O solo, com textura muito argilosa (68% argila), caracteriza-se por apresentar perfil de fertilidade de 40 cm, com baixa saturação de  $Al^{3+}$  (valor “m” variando de 12 a 32%, na camada

repetições, sendo o delineamento dos tratamentos um fatorial 3x3+3, em parcelas subdivididas, dispondo nas parcelas (18 m x 3,5 m) as fontes de potássio, subproduto da mineração: Biotita; subproduto da siderurgia: RMS; e fertilizante solúvel: Cloreto de Potássio (KCl) e nas subparcelas (6 m x 3,5 m) as doses de potássio: 75, 150 e 300 kg de  $K_2O/ha$ . Os tratamentos adicionais foram constituídos por: testemunha – 0 kg de  $K_2O/ha$ ; Biotita – 75 kg de  $K_2O/ha$  aplicado a lanço + 75 kg de  $K_2O/ha$  na forma de KCl aplicado no sulco de semeadura; RMS - 75 kg de  $K_2O/ha$  aplicado a lanço

Foto: Antônio Marcos Coelho



**Figura 2.** Aspecto geral mostrando a aplicação de Biotita e RMS na superfície do solo (esquerda) e o crescimento inicial das culturas de milho e soja no campo (direita).

de 20 a 40 cm) e teor médio de matéria orgânica. De acordo com Coelho (2017), embora o solo seja deficiente em K ( $\leq 35 \text{ mg/dm}^3$ ), apresenta teores médios a altos de macronutrientes (P, Ca, Mg) e de micronutrientes (Zn, Cu, Fe e Mn), o que o caracteriza como um solo de alto potencial produtivo.

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados com 3

+ 75 kg de  $K_2O/ha$  na forma de KCl aplicado no sulco de semeadura. As taxas equivalentes aplicadas para fornecer as doses de 75, 150 e 300 kg  $K_2O/ha$  foram: Biotita (5%  $K_2O$ ) 1,5, 3,0 e 6,0 t/ha; RMS (10%  $K_2O$ ) 0,75, 1,5 e 3,0 t/ha e; KCl (60%  $K_2O$ ) 125, 250 e 500 kg/ha. Para o cálculo dessas doses foi considerado o teor total de potássio de cada fonte. As fontes de potássio foram aplicadas apenas no primeiro ano, a

lanço na superfície do solo e incorporadas (0 - 10 cm) por meio de uma enxada rotativa, sendo, posteriormente, a partir do segundo cultivo (2007/08), estabelecido o sistema de plantio direto. O KCl, na dose de 75 kg de K<sub>2</sub>O, foi aplicado no sulco de semeadura apenas no primeiro ano.

## Manejo das culturas e adubações

O sistema de produção agrícola utilizado foi a sucessão milheto, soja (2006/07 e 2007/08) e sorgo granífero (2008/09 e 2009/10) (Figura 3). Sempre que necessário, principalmente quando da ocorrência de período de veranicos, as culturas receberam irrigação

sementes/ha, e adubado com 35 kg de N/ha, na forma de ureia e 90 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha na forma de superfosfato triplo. Em ambos os anos, a produção de biomassa de milheto foi avaliada no estágio de emborrachamento ( $\pm$  55 dias após semeadura). Antes da colheita, o milheto foi dessecado com a aplicação de glifosato na dose de 1l/ha. O peso da biomassa foi determinado no campo, e amostras foram retiradas para determinação de matéria seca a 65 °C e análises químicas dos teores de N, P e K.

Aos 15 dias após a dessecação do milheto, a soja cultivar BRS-Valiosa<sup>RR</sup> foi semeada no espaçamento de 0,50 m e densidade de 15 sementes por metro, visando obter na colheita uma população de 300 mil plantas/ha. No primeiro



Foto: Antônio Marcos Coelho

**Figura 3.** Vista geral do experimento mostrando as culturas de milheto, sorgo granífero e soja se desenvolvendo no campo.

suplementar, utilizando o sistema por aspersão.

O milheto, cultivar ADR300, foi semeado em setembro, no espaçamento de 0,35 m e densidade de 15 kg de

ano agrícola (2006/07), as sementes de soja não foram inoculadas com rizóbio (*Bradyrhizobium japonicum*), e não foi efetuada adubação com N e P na semeadura, aproveitando o efeito residual da adubação realizada para o milheto.

Entretanto, estes procedimentos de inoculação das sementes com rizóbio e adubação foram adotados no ano subsequente. Na adubação de semeadura foram aplicados 25 kg de N/ha, na forma de ureia e 90 kg de  $P_2O_5$ /ha, na forma de superfosfato triplo.

O híbrido de sorgo granífero BRS330 foi semeado no espaçamento de 0,50 m entre linhas na densidade de 12 sementes por metro, visando obter na colheita uma população de 200 mil plantas/ha. Nas adubações de semeadura foram aplicados anualmente 25 kg de N/ha, na forma de ureia e 90 kg de  $P_2O_5$ /ha, utilizando-se o superfosfato triplo. Nas adubações de cobertura, foram aplicadas anualmente 100 kg de N/ha, utilizando a mistura de ureia (70%) e sulfato de amônio (30%), aplicadas no estágio vegetativo de 6 a 7 folhas desenvolvidas.

Os tratos culturais, o controle de plantas daninhas de pragas e de doenças foram realizados de acordo com as recomendações para as culturas. Para o sorgo, foi utilizado o herbicida Gesaprim (2,5 l/ha), aplicado em pós-emergência. Para a soja, foi utilizado o herbicida Glifosato (3,5 l/ha), aplicado em pós-emergência. Para o controle de pragas do sorgo, foram utilizados os inseticidas: Match (0,3 l/ha), Maste (2 kg/ha), Lorsban (1,5 l/ha), Karatê (0,15 l/ha) e Lannate (0,6 l/ha), e para a soja os inseticidas: Decis (0,3 l/ha) e Tracer (0,05 l/ha). Para o controle de doenças em soja, foram utilizados os fungicidas: Opera (0,6 l/ha) e Impact (0,6 l/ha).

Para a colheita, foram consideradas como área útil de cada subparcela as 5 linhas centrais de 5 m de comprimento (5 m x 2,5 m). Para o sorgo, foram avaliados o número de plantas e panículas, peso de plantas, panículas e grãos e umidade dos grãos. O peso de grãos foi ajustado para umidade padrão de 130 g/kg e expresso em rendimento por hectare. Para a soja, foram avaliados o número de plantas, vagens/planta, peso de plantas, grãos e umidade dos grãos. O peso de grãos foi ajustado para umidade padrão de 130 g/kg e expresso em rendimento por hectare.

Os dados obtidos foram submetidos às análises estatísticas pela análise de variância para o desenho experimental de fatorial em subparcelas usando o PROC GLM do programa SAS 9.4 (SAS Institute, 2012). Foram ajustadas curvas de respostas para as produtividades de matéria seca de milho e grãos de soja e de sorgo para cada ano agrícola.

## **Efeito imediato e residual das fontes e doses de potássio nas produtividades de matéria seca de milho**

No Brasil, a cultura do milho, nos últimos tempos, tem aumentado a área plantada, sobretudo na região de Cerrado, pelo enorme potencial de

cobertura do solo oferecido para a prática do plantio direto, constituindo assim um reciclador de nutrientes. Nesse sistema, onde a biomassa produzida não é removida do campo, e em solos cuja a fertilidade é classificada como média a alta, a aplicação de fertilizantes não tem sido recomendada (Pereira Filho et al., 2005).

As produtividades de matéria seca do milho em respostas às fontes alternativas (Biotita e RMS) e às doses de K, comparadas ao KCl, são apresentadas na Figura 4. As produtividades variaram de 2,0 a 5,0 t/ha, com média de 3,7 t/ha de matéria seca, com acentuada resposta das doses de K aplicadas (Figura 4). Na primeira safra (2006), significativas diferenças (teste F,  $P \leq 0,10$ ) foram observadas entre as fontes e as doses de K aplicadas, não sendo, entretanto, significativa a interação entre as fontes e doses de K, o que pode ser explicado pelo fato de que todas as fontes apresentaram aumentos nas produtividades de matéria seca, como o aumento nas doses aplicadas (Figura 4). As máximas produtividades de matéria seca foram obtidas com a aplicação da dose de 75 kg de  $K_2O$ /ha, quando as fontes utilizadas foram a RMS e o KCl, obtendo-se 4,5 e 3,9 t/ha, respectivamente. Para a Biotita, foi observada resposta linear às doses, com máxima produtividade de matéria seca (3,9 t/ha) obtida com a aplicação de 300 kg de  $K_2O$ /ha.

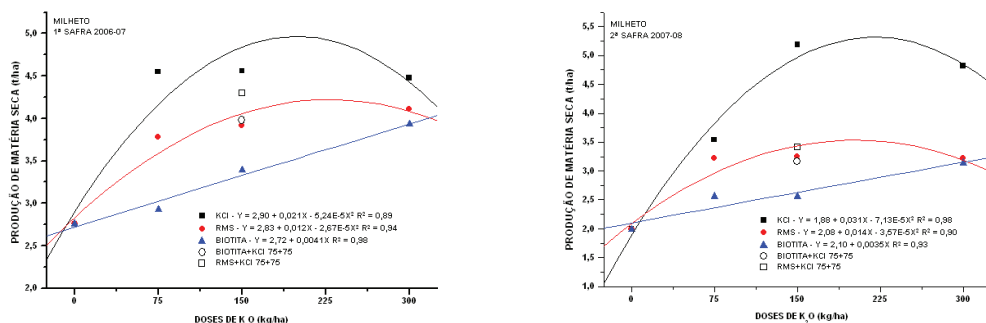
Resultados similares foram observados aos obtidos no segundo plantio (2007), já considerando o efeito

residual das fontes e doses de K (Figura 4). Entretanto, para as fontes KCl e RMS, as máximas produtividades de matéria seca foram obtidas com a aplicação da dose de 150 kg de  $K_2O$ /ha, sendo a produtividade de matéria seca obtida com o KCl (5,2 t/ha) significativamente (teste de Tukey 10%) superior à conseguida com a RMS (3,7 t/ha). Para a Biotita, novamente foi observada resposta linear das doses de K, com a máxima produtividade (3,3 t/ha) de matéria seca, alcançada com a aplicação da dose de 300 kg de  $K_2O$ /ha (Figura 4).

Os tratamentos adicionais (Figura 4), constituídos pela combinação das fontes de K na dose de 150 kg de  $K_2O$ /ha, na proporção de 50% de cada uma, apresentaram, no primeiro cultivo (2006), produtividades de matéria seca similares às obtidas com aplicações exclusivas de cada fonte em dose similar e superiores à testemunha, decrescendo, entretanto, seus efeitos no cultivo seguinte (2007), com produtividades de 3,5 t/ha para a combinação de RMS+KCl e de 2,5 t/ha para a combinação de Biotita+KCl, inferiores portanto à produtividade alcançada com aplicação de KCl em dose similar, que atingiu a 5,0 t/ha de matéria seca (Figura 4).

Considerando que as fontes foram aplicadas em doses equivalentes, calculadas com base no teor total de  $K_2O$ , os resultados obtidos estão de acordo com a “biodisponibilidade” de K contido em cada fonte, representada pelos teores solúveis em água (KCl 58%, RMS 10% e Biotita < 1%).





**Figura 4.** Efeitos imediato e residual de fontes e de doses de potássio nas produtividades de matéria seca de milho, em duas safras sucessivas.

## Ciclagem de potássio na biomassa de milho

Nesse experimento, o milho foi utilizado com o objetivo principal de avaliar o seu potencial para absorver formas menos solúveis de K (“biodisponibilidade”) e, consequentemente, aumentar a disponibilidade desse nutriente no solo através do processo de ciclagem. É importante mencionar que, ao contrário de outros nutrientes, como o P, o K na planta não faz parte compostos orgânicos e está na forma de íons solúveis no tecido vegetal e no resíduo da cultura. Portanto, as quantidades relativas da remoção de K e as quantidades e padrões de sua ciclagem para os solos com os resíduos das culturas aumentam a disponibilidade desse nutriente para as culturas cultivadas em sucessão. Assim, são apresentados, na Tabela 1, os teores de K na matéria seca de milho e as respectivas quantidades extraídas e

cicladadas para o solo em função das fontes e doses de K aplicadas.

Independentemente das fontes e doses de K aplicadas (Tabela 1), as quantidades desse nutriente extraídas na biomassa do milho variaram de 40 a 190 kg de K/ha (48 a 228 kg de K<sub>2</sub>O/ha), que foram retornadas ao solo. Verifica-se, pela Tabela 1, que as concentrações e as extrações de K na biomassa de milho apresentaram variações em função das fontes e doses de K aplicadas, com tendências similares nas duas safras. Embora as fontes tenham sido aplicadas em doses equivalentes, foram obtidas diferenças significativas (teste F,  $P \leq 0,10$ ) entre as fontes e as doses aplicadas e superiores ao tratamento controle. As fontes com teores mais altos de K solúvel, como o KCl e a RMS, apresentaram maiores quantidades de K na biomassa de milho, e superiores às obtidas com a Biotita, comprovando, assim, a baixa “biodisponibilidade” de K dessa fonte e a ineficiência do milho em absorver formas menos solúveis de K (Tabela 1).

**Tabela 1.** Concentrações de potássio e quantidades extraídas na biomassa de milho

Fontes	Doses	K-absorvido – 2006		K-absorvido – 2007	
	K <sub>2</sub> O – kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
KCl	75	20,40	92,74	19,83	70,60
	150	38,23	174,49	21,27	109,71
	300	42,67	189,91	22,60	109,32
Média		33,77a <sup>1</sup>	152,38a	21,98a	96,55a
Biotita	75	14,57	41,33	9,60	25,83
	150	16,40	55,93	9,57	29,23
	300	19,17	73,37	15,70	54,09
Média		16,71b	56,88c	11,62b	36,38b
RMS	75	24,67	91,30	18,57	61,73
	150	30,57	116,12	22,70	87,42
	300	34,93	148,69	24,67	98,73
Média		30,05a	118,70b	21,23a	82,63a
<b>Tratamentos adicionais</b>					
Controle	0	12,03	32,96	12,33	25,68
Biotita + KCl	75 + 75	26,10	103,44	23,07	56,13
RMS + KCl	75 + 75	28,73	123,32	19,50	69,37
Média geral		25,70	103,60	18,28	66,49
CV %		18,84	25,96	36,78	46,05

<sup>1</sup>Médias nas mesmas colunas com as mesmas letras, comparando as fontes, não apresentam diferenças significativas pelo teste de tukey,  $\alpha = 0.10$ .

## Efeito residual das fontes e das doses de potássio nos componentes do rendimento da soja e do sorgo granífero

Os componentes de rendimento, número de plantas e vagens por planta de soja e o número de plantas e panículas de sorgo não foram afetados significativamente (teste de F,  $P \leq 0,10$ ) pelas fontes e pelas doses de potássio aplicadas. Deste modo, são apresentados na Tabela 2 os valores médios desses parâmetros, com os respectivos intervalos de confiança (IC) e coeficientes de variação (CV), obtidos em cada safra agrícola por ocasião da colheita da soja e do sorgo. As variações observadas

nas safras agrícolas para estes parâmetros, nas duas culturas, foram devidas a problemas de manejo, à qualidade de sementes e a ataques de pragas e de pássaros.

Por outro lado, verifica-se pelos dados apresentados na Tabela 2, que as variabilidades nos componentes do rendimento dentro de cada safra e para cada cultura, foram baixas, como indicada pelos valores dos coeficientes do intervalo de confiança (IC) e de variação (CV) dos valores médios desses parâmetros (número de plantas, vagens e panículas).

**Tabela 2.** Número médio de plantas, vagens e panículas das culturas de soja e sorgo avaliados na colheita.

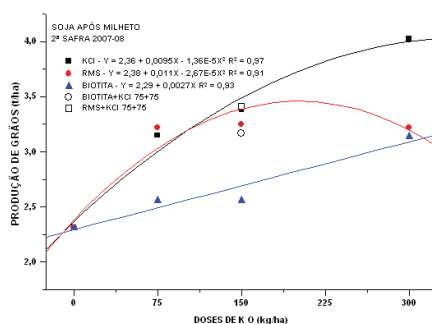
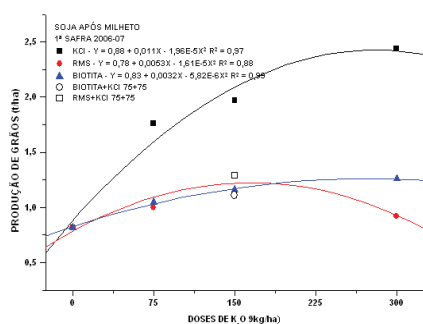
Cultura/safra agrícola	Número de plantas	IC <sup>1</sup>	CV <sup>2</sup>	Número de vagens/panículas	IC <sup>1</sup>	CV <sup>2</sup>
Soja	----- 1.000 ha <sup>-1</sup> -----		%	----- n°plantas <sup>-1</sup> -----		%
2006-07	326,67	± 7,08	6,21	20,36	± 1,05	14,85
2007-08	229,25	± 9,06	11,33	46,05	± 4,42	27,47
Sorgo	----- 1.000 ha <sup>-1</sup> -----		%	----- 1.000 ha <sup>-1</sup> -----		%
2008-09	157,28	± 9,94	18,38	115,89	± 8,26	20,42
2009-10	185,83	± 4,10	6,31	156,58	± 3,91	7,16

<sup>1</sup>I.C. = Intervalo de confiança com 95% de probabilidade. <sup>2</sup>C.V. = coeficiente de variação.

## Efeito residual das fontes e doses de potássio nas produtividades de grãos de soja

O efeito residual das fontes e doses de K aplicadas, nas produtividades de grãos de soja, são apresentados na Figura 5. As produtividades de grãos variaram de 0,8 a 2,4 t/ha na safra 2006/07 e de 2,3 a 4,0 t/ha na safra 2007/08, com o aumento das doses de K de 0 a 300 kg de K<sub>2</sub>O/ha, confirmando, assim, as respostas acentuadas da soja ao K em solos deficientes nesse nutriente e um significativo efeito residual do K aplicado. As baixas produtividades obtidas na safra 2006/07 (Figura 5) são creditadas

ao fato de o solo da área experimental nunca ter sido cultivado com a soja e as sementes não terem sido inoculadas com a bactéria fixadora de N. Análises foliares para este elemento (dados não mostrados) indicaram baixos teores de N (média de 25 mg de N/kg de matéria seca), quando comparadas com as análises foliares (média de 55 mg de N/kg de matéria seca) das plantas cultivadas na safra seguinte (2007/08) em que as sementes foram inoculadas com a referida bactéria (rizóbio). Nessas condições, os tratamentos em que o KCl foi utilizado com fonte de K apresentaram produtividades de grãos de soja (2,0 t/ha) significativamente (teste de F,  $P \leq 0,10$ ) superiores às obtidas com as fontes Biotita e RMS (1,0 t/ha), com respostas até a dose de 300 kg de K<sub>2</sub>O/ha (Figura 5).



**Figura 5.** Efeito residual de fontes e doses de potássio nas produtividades de grãos de soja.



Na safra seguinte (2007/08), com maiores potenciais de produtividade de grãos (Figura 5), as fontes KCl e RMS apresentaram, em média, produtividades similares de grãos, de 3,51 e 3,23 t/ha, respectivamente, superiores à obtida com a Biotita (2,75 t/ha). Entretanto, enquanto que com o KCl a produtividade máxima de grãos (4,0 t/ha) foi obtida com a dose de 300 kg de  $K_2O$ /ha, para a RMS a produtividade máxima de grãos (3,25 t/ha) foi atingida com a dose de 150 kg de  $K_2O$ /ha (Figura 5). Esses resultados indicam um efeito negativo da RMS na produtividade de grãos, quando aplicada na dose de 3,0 t/ha, visando suprir o equivalente a 300 kg de  $K_2O$ /ha, mesmo considerando seu

efeito residual no solo, após 2 anos de sua aplicação e dois cultivos sucessivos de milho. Assim, levanta-se a hipótese de que os elementos potencialmente tóxicos, como o chumbo (4.255 mg/kg), o cádmio (411 mg/kg) e o bário (1.658 mg/kg), contidos na RMS, podem induzir estresse oxidativo e fitotóxico nas plantas de soja, contribuindo para a redução nas produtividades de grãos. Por outro lado, a biotita, quando aplicada na dose de 6,0 t/ha, visando suprir o equivalente a 300 kg de  $K_2O$ /ha, apresentou um efeito residual significativo, com produtividade de grãos de 3,14 t/ha (Figura 5). Como mostrado na Figura 6, comparada com a aplicação de 3,0 t/ha (75 kg de  $K_2O$ /ha), não apresentou sintomas foliares de deficiência de K.

Foto: Antônio Marcos Coelho



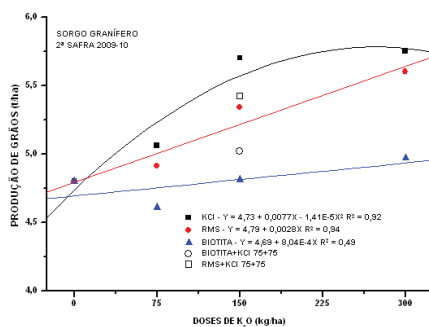
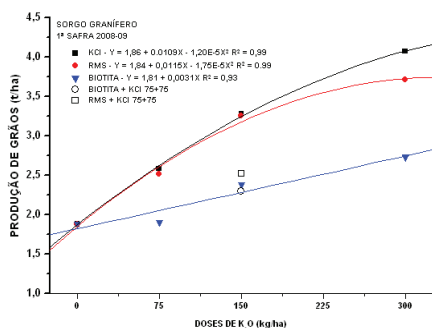
**Figura 6.** Aspectos das plantas de soja, em março de 2008, em parcelas que receberam como fonte de potássio a biotita, aplicada nas doses de 75 kg de  $K_2O$ /ha (esquerda), com deficiência de K, e 300 kg de  $K_2O$  por hectare (direita), sem os sintomas de deficiência de K.

Os tratamentos adicionais, formados pela combinação das fontes Biotita, RMS e KCl aplicadas na dose de 150 kg de  $K_2O$ /ha, na proporção de 50% de cada fonte, apresentaram também, na safra 2006/07, baixas produtividades de grãos, inferiores às obtidas com o KCl, em dose similar (Figura 5). Por outro lado, na safra seguinte (2007/08), com maiores produtividades de grãos, a combinação das fontes RMS e Biotita com KCl apresentou produtividade similar de grãos, obtendo-se: RMS+ KCl 3,41 t/ha; Biotita+ KCl 3,17 t/ha e KCl 3,38 t/ha. O tratamento controle apresentou produtividade de grãos de 2,31 t/ha (Figura 5).

## Efeito residual das fontes e doses de potássio nas produtividades de grãos de sorgo

Nesse experimento, o sorgo granífero foi cultivado nas mesmas parcelas cultivadas anteriormente com duas safras de milho e duas de soja aproveitando, assim, o efeito residual das fontes e das doses de potássio aplicadas em 2006/07. As produtividades ajustadas de grãos de sorgo, obtidas em duas safras sucessiva (2008/09 e 2009/10), são apresentadas na Figura 7. As baixas produtividades de grãos, obtidas na safra 2008/09, foram devidas à ocorrência da doença identificada com antracnose foliar.

Nessas condições, foram observadas respostas acentuadas do sorgo às doses e às fontes de K, com as maiores produtividades de grãos obtidas com a dose máxima aplicada (300 kg de  $K_2O$ /ha) indicando, assim, um significativo efeito residual do K (Figura 7). Com relação às fontes, o KCl e a RMS, com maiores teores de K solúvel, apresentaram para as produtividades de grãos comportamento similar, sendo, entretanto, superiores à Biotita, a qual, quando comparada ao tratamento controle, apresentou efeito residual com pequenos incrementos nas produtividades de grãos com aumento nas doses aplicadas. Para o sorgo, ao contrário dos resultados observados para o milho e para a soja, a RMS aplicada na dose de 3,0 t/ha, visando suprir o equivalente a 300 kg de  $K_2O$ /ha, não apresentou efeito detrimental nas produtividades de grãos (Figura 7). Os tratamentos adicionais, formados pelas combinações RMS e Biotita com o KCl, apresentaram, na safra 2008/09, baixa eficiência quando comparados ao KCl aplicado isoladamente em dose equivalente. Por outro lado, na safra seguinte (2009/10), com maiores produtividades de grãos, a combinação das fontes RMS e KCl apresentou eficiência similar à obtida com o KCl aplicado isoladamente em dose similar e superior aos resultados obtidos com o tratamento envolvendo a combinação da Biotita e KCl (Figura 7).



**Figura 7.** Efeito residual de fontes e doses de potássio nas produtividades de grãos de sorgo.

## Considerações finais

Em experimentos conduzidos em um Latossolo deficiente em K, avaliou-se para as culturas do milho, da soja e do sorgo granífero em cultivos sucessivos, a eficiência relativa de subprodutos da mineração (Biotita) e da siderurgia (RMS) como fontes alternativas de K, comparadas a uma fonte padrão (KCl). Independentemente das fontes, respostas acentuadas das culturas às doses de K foram verificadas para o efeito imediato e residual, sendo as maiores produtividades de matéria seca do milho e grãos de soja e de sorgo obtidas com as doses de 150 e 300 kg de  $K_2O$ /ha, as quais apresentaram também um efeito residual bastante significativo. Esse efeito residual pode ser explicado pela baixa lixiviação de K nesse solo argiloso, com valores altos de CTC (8 a 9 cmol/dm<sup>3</sup>

de solo) e a ciclagem do K na biomassa das culturas.

As respostas das culturas às fontes de potássio, estiveram relacionadas com a “biodisponibilidade”, aqui definida como o percentual desse nutriente solúvel em água de cada fonte. Nesse contexto, as fontes KCl (fonte padrão) e RMS (subproduto da siderurgia), com maior solubilidade do K contido nelas, foram mais eficientes em relação à Biotita (subproduto da mineração) em disponibilizar o nutriente para o milho, a soja e o sorgo. A Biotita apresentou uma disponibilidade muito baixa de K (< 1%) solúvel em água, confirmando, assim, sua baixa eficiência no suprimento de K, mesmo considerando seu efeito residual. Dessa maneira, a hipótese de que a sucessão milho como planta de cobertura, soja e sorgo poderia aumentar a eficiência de fontes de K de baixa

solubilidade não foi confirmada pelos resultados obtidos nesta pesquisa.

## Referências

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE FERTILIZANTES. São Paulo: ANDA, 2014. 176 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5 de 10 de março de 2016. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 mar. 2016. Seção 1, n. 49, p. 10. Disponível em: <[http://www.imprensanacional.gov.br/material/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/21393137/do1-2016-03-14-instrucao-normativa-n-5-de-10-de-marco-de-2016-21393106](http://www.imprensanacional.gov.br/material/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/21393137/do1-2016-03-14-instrucao-normativa-n-5-de-10-de-marco-de-2016-21393106)>. Acesso em: 29 set. 2017.

COELHO, A. M. **Eficiência agrônômica de subprodutos da mineração e siderurgia como fontes de potássio para culturas de milho e soja em sistemas de rotação**. 15 p. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2017. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 224).

COELHO, A. M.; MARRIEL, I. E.; ROCHA, D. M. Relative efficiency of sources of potassium in the fertilization of crop system, pear millet and soybean. In: SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC CENTRE OF FERTILIZERS, 18., 2009, Rome. **More sustainability in agriculture: new fertilizers and fertilization management: book of abstracts**. Rome: Agricultural Research Council, 2009. p. 49-54.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 613-658.

COELHO, A. M. **Procedimentos metodológicos para a caracterização de escórias de siderurgia para o uso na agricultura**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 207).

LOPES, A. S. Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 21-32,

MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, n. 2, p. 281-294, 2010.

NACHTIGALL, G. R.; RAIJ, B. van. Análise e interpretação de potássio no solo. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 93-118.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S.; KARAM, D.; COELHO, A. M.; ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; CABEZAS, W. L. Manejo da cultura do milheto. In: NETTO, D. A. M.; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Milheto: tecnologias de**



produção e agronegócio. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. cap. 3, p. 59-92.

RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R. dos; SILVA, F. S. da; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 891-897, maio/jun. 2010.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistic**, 9.4. Cary, 2012.

Esta publicação está disponível no endereço:  
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

**Embrapa Milho e Sorgo**  
Rod. MG 424 Km 45  
Caixa Postal 151  
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG  
Fone: (31) 3027-1100  
Fax: (31) 3027-1188  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

**1ª edição**

*Formato digital (2018)*



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
*Sidney Netto Parentoni*

Secretário-Executivo  
*Elena Charlotte Landau*

Membros  
Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria  
Borges Damasceno, Maria Lúcia Ferreira  
Simeone, Roberto dos Santos Trindade e  
Rosângela Lacerda de Castro

Revisão de texto  
*Antonio Claudio da Silva Barros*

Normalização bibliográfica  
*Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)*

Tratamento das ilustrações  
*Tânia Mara Assunção Barbosa*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Tânia Mara Assunção Barbosa*

Foto da capa  
*Antônio Marcos Coelho*

CGPE 14851